

**PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS PEMBELAJARAN INTERAKTIF
TERINTEGRASI KETERAMPILAN ABAD 21 UNTUK MENINGKATKAN
LITERASI SAINS SISWA SMA PADA MATERI EKOSISTEM**

Lia Laelatul Sholihath^{1*}, Agus Yadi Ismail¹, Zaenal Abidin¹
Program Magister Pendidikan Biologi, Universitas Kuningan
*e-mail: 20251310003@uniku.ac.id

Diterima: 16/08/2026; Direvisi: 21/08/2026; Diterbitkan: 28/08/2026

ABSTRAK

Rendahnya literasi sains serta belum optimalnya integrasi keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran Biologi menuntut pengembangan media pembelajaran digital yang interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul berbasis pembelajaran interaktif yang terintegrasi keterampilan abad ke-21 (4C: *Critical Thinking, Creativity, Communication*, dan *Collaboration*), menguji validitas dan kepraktisannya, serta menganalisis efektivitasnya dalam meningkatkan literasi sains siswa SMA pada materi ekosistem. Penelitian dilaksanakan pada Januari–Mei 2026 menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Efektivitas produk diuji menggunakan *quasi-experimental design* dengan pola *pretest-posttest control group design*. Subjek penelitian melibatkan 160 siswa kelas X dari SMAN 1 Kasokandel dan SMA Islam Al Mizan Kabupaten Majalengka, masing-masing terdiri atas 40 siswa kelas eksperimen dan 40 siswa kelas kontrol. Data dikumpulkan melalui lembar validasi ahli, angket respons siswa, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan tes literasi sains, kemudian dianalisis menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test* dan *Mann-Whitney U Test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul memiliki tingkat validitas sangat tinggi dengan rata-rata persentase kelayakan 92,9%, yang meliputi penilaian ahli materi sebesar 93,7%, ahli media sebesar 87,5%, dan ahli pembelajaran Biologi sebesar 97,7%. E-modul juga dinyatakan sangat praktis berdasarkan respons positif siswa sebesar 100% pada seluruh butir angket. Hasil uji efektivitas menunjukkan adanya peningkatan literasi sains yang signifikan pada kelas eksperimen di kedua sekolah (*Asymp. Sig. = 0,000 < 0,05*). Nilai *N-Gain* kelas eksperimen mencapai 0,73 dengan kategori tinggi di SMA Islam Al Mizan dan 0,68 dengan kategori sedang di SMAN 1 Kasokandel, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang masing-masing memperoleh 0,33 dan 0,19. Dengan demikian, e-modul interaktif terintegrasi keterampilan 4C dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk mendukung peningkatan literasi sains siswa SMA pada materi ekosistem.

Kata Kunci: *e-modul interaktif, keterampilan abad ke-21, literasi sains, problem-based learning, ekosistem*

ABSTRACT

The low level of scientific literacy and the suboptimal integration of 21st-century skills in Biology learning highlight the need for innovative and interactive digital learning media. This study aimed to develop an interactive learning-based e-module integrated with 21st-century skills (4C: *Critical Thinking, Creativity, Communication, and Collaboration*), evaluate its validity and practicality, and analyze its effectiveness in improving senior high school students' scientific literacy on ecosystem topics. The study was conducted from January to May 2026 using a *Research and Development* (R&D) approach with the ADDIE model (*Analysis, Design,*

Development, Implementation, Evaluation). Product effectiveness was evaluated using a quasi-experimental design with a pretest-posttest control group design. The participants comprised 160 tenth-grade students from SMAN 1 Kasokandel and SMA Islam Al Mizan, Majalengka Regency, with 40 students in the experimental class and 40 students in the control class at each school. Data were collected through expert validation sheets, student response questionnaires, learning implementation observation sheets, and scientific literacy tests, and were analyzed using the Wilcoxon Signed Rank Test and the Mann-Whitney U Test. The results showed that the e-module achieved a very high validity level, with an average feasibility percentage of 92.9%, comprising 93.7% from material experts, 87.5% from media experts, and 97.7% from Biology learning experts. The e-module was also considered highly practical, as indicated by a 100% positive response across all questionnaire items. The effectiveness test demonstrated a significant improvement in scientific literacy among students in the experimental classes at both schools (Asymp. Sig. = 0.000 < 0.05). The experimental classes achieved N-Gain scores of 0.73, categorized as high, at SMA Islam Al Mizan and 0.68, categorized as moderate, at SMAN 1 Kasokandel, exceeding the control classes' scores of 0.33 and 0.19, respectively. Therefore, the interactive e-module integrated with 4C skills is valid, practical, and effective in supporting the improvement of senior high school students' scientific literacy on ecosystem topics.

Keywords: *interactive e-module, 21st-century skills, scientific literacy, problem-based learning, ecosystem*

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut transformasi paradigma dari sekadar penguasaan pengetahuan faktual menjadi pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, yakni Critical Thinking, Creativity, Collaboration, dan Communication (4C) (Trilling & Fadel, 2009). Keterampilan tersebut beririsan erat dengan literasi sains, yaitu kemampuan menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menjelaskan fenomena, menafsirkan data, dan mengambil keputusan berbasis bukti (OECD, 2023b). Secara nasional, urgensi ini telah diakomodasi melalui Kurikulum Merdeka yang menekankan pembelajaran saintifik, kontekstual, dan berpusat pada siswa (Kemendikbudristek, 2022).

Namun demikian, realitas empiris menunjukkan kesenjangan yang signifikan dalam pencapaian kompetensi tersebut. Laporan PISA 2022 menempatkan skor literasi sains siswa Indonesia jauh di bawah rata-rata internasional, yang mengindikasikan kelemahan sistemik dalam penalaran ilmiah (OECD, 2023a). Kondisi ini terkonfirmasi melalui observasi pendahuluan di SMAN 1 Kasokandel dan SMA Islam Al Mizan, di mana siswa mengalami kesulitan secara spesifik dalam menganalisis hubungan antar-komponen ekosistem serta menafsirkan sajian data grafik. Rendahnya literasi sains ini diperparah oleh ketergantungan pada bahan ajar konvensional (LKS cetak) yang bersifat statis, sehingga gagal memvisualisasikan dinamika konsep ekologi yang abstrak secara utuh (Arsyad, 2017).

Temuan di lapangan turut mengungkap ketidaksesuaian pedagogis yang tercermin dalam fenomena digital paradox. Ketersediaan infrastruktur digital di kedua sekolah pada dasarnya sudah memadai, namun pemanfaatannya belum berbanding lurus dengan peningkatan kualitas interaksi kognitif; teknologi umumnya hanya difungsikan untuk digitalisasi konten yang bersifat satu arah, bukan sebagai sarana investigasi ilmiah. Kesenjangan penelitian yang esensial dalam konteks ini adalah minimnya bahan ajar digital berbasis web yang memiliki kerangka desain instruksional (instructional design) yang jelas untuk mengintegrasikan keterampilan 4C dan literasi sains secara simultan, mengingat mayoritas media yang

dikembangkan sebelumnya tidak memiliki sintaks pedagogis yang memadai untuk memfasilitasi pemecahan masalah secara terstruktur (Hodges et al., 2020).

Sebagai intervensi strategis atas permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan e-modul berbasis pembelajaran interaktif yang diinkubasi dengan pendekatan Problem-Based Learning (PBL) dan terintegrasi keterampilan 4C. Materi ekosistem dipilih karena relevansinya yang tinggi dengan isu krisis lingkungan lokal, seperti alih fungsi lahan dan degradasi lingkungan di wilayah Majalengka, sehingga dapat direkayasa menjadi permasalahan autentik bagi siswa (Bybee, 2015). Desain e-modul interaktif yang diunggah melalui micro-site ini memfasilitasi scaffolding mandiri melalui penyajian multimedia dinamis berupa visualisasi, simulasi, dan matriks diskusi kolaboratif, selaras dengan Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014) yang mengonfirmasi bahwa integrasi representasi verbal dan visual yang proporsional dalam lingkungan digital interaktif dapat mereduksi beban kognitif berlebih sehingga pemahaman konsep terjadi secara bermakna.

Penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi e-modul dalam pembelajaran biologi, misalnya pengembangan e-modul berbasis literasi sains oleh Sari et al. (2021) dan pengujian efektivitas modul terhadap literasi sains oleh Uslan (2024). Namun, kedua penelitian tersebut umumnya menggunakan sampel terbatas atau desain one-group sehingga generalisasi capaiannya masih lemah, dan belum secara eksplisit mengintegrasikan keterampilan 4C sebagai variabel proses yang bersinergi dengan literasi sains sebagai variabel capaian berdasarkan kerangka PISA 2022. Penelitian ini memosisikan diri untuk menutup kesenjangan tersebut melalui desain R&D model ADDIE yang diuji efektivitasnya dengan quasi-experimental design pada dua sekolah mitra dengan karakteristik kesiapan digital yang berbeda. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur pengembangan e-modul berbasis pembelajaran interaktif terintegrasi keterampilan abad ke-21 (4C) pada materi ekosistem menggunakan model ADDIE. Selain itu, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi tingkat validitas e-modul berdasarkan penilaian ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran biologi. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas e-modul tersebut dalam meningkatkan literasi sains siswa SMA pada materi ekosistem.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development/R&D*) yang dilaksanakan pada Januari hingga Mei 2026. Produk yang dikembangkan berupa e-modul berbasis pembelajaran interaktif yang terintegrasi keterampilan abad ke-21 (4C: *Critical Thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*) pada materi ekosistem. Efektivitas produk diuji menggunakan *quasi-experimental design* dengan pola *pretest-posttest control group design*. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang dikembangkan oleh Dick et al. (1996) dan Smith dan Ragan (1999).

Penelitian dilaksanakan di SMAN 1 Kasokandel dan SMA Islam Al Mizan, Kabupaten Majalengka. Subjek penelitian berjumlah 160 siswa kelas X (Fase E), yang terdiri atas 40 siswa kelas eksperimen dan 40 siswa kelas kontrol pada masing-masing sekolah. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran menggunakan e-modul interaktif berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) yang terintegrasi keterampilan 4C, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran menggunakan bahan ajar cetak melalui pembelajaran yang biasa diterapkan di sekolah. Desain penelitian yang digunakan untuk menguji efektivitas e-modul pada kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain *Pretest-Posttest Control Group Design*

Kelas	<i>Pretest</i>	Perlakuan	<i>Posttest</i>
Eksperimen	O ₁	X	O ₂
Kontrol	O ₃	–	O ₄

Keterangan: O₁ = pretest kelas eksperimen; O₂ = posttest kelas eksperimen; O₃ = pretest kelas kontrol; O₄ = posttest kelas kontrol; X = pembelajaran menggunakan e-modul interaktif berbasis PBL terintegrasi keterampilan 4C.

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, kedua kelompok diberikan *pretest* dan *posttest*, sedangkan perlakuan berupa penggunaan e-modul interaktif berbasis PBL terintegrasi keterampilan 4C hanya diberikan kepada kelas eksperimen. Dengan desain tersebut, perubahan kemampuan literasi sains sebelum dan sesudah pembelajaran serta perbedaan capaian antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dianalisis.

Prosedur pengembangan mengikuti lima tahap ADDIE. Tahap *Analysis* dilakukan melalui analisis kebutuhan dengan wawancara guru dan angket siswa, analisis kurikulum yang meliputi Capaian Pembelajaran (CP), Tujuan Pembelajaran (TP), dan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP), analisis karakteristik siswa, serta analisis konteks dan ketersediaan sarana teknologi informasi dan komunikasi. Tahap *Design* meliputi penyusunan struktur e-modul dan perancangan pembelajaran yang mengintegrasikan sintaks PBL, keterampilan 4C, dan indikator literasi sains OECD (2023a). Tahap *Development* mencakup penyusunan produk awal menggunakan platform Canva-site dan validasi produk oleh ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran Biologi menggunakan instrumen angket skala Likert. Tahap *Implementation* dilakukan melalui uji coba lingkup kecil terhadap 10 siswa dan uji coba lingkup besar terhadap 160 siswa. Pada kelas eksperimen, pembelajaran menggunakan e-modul dengan mengikuti sintaks PBL, yaitu (1) orientasi siswa pada masalah, (2) mengorganisasikan siswa untuk belajar, (3) membimbing penyelidikan, (4) mengembangkan dan menyajikan hasil, dan (5) menganalisis serta mengevaluasi proses pemecahan masalah (Hmelo-Silver, 2004). Tahap *Evaluation* dilakukan melalui analisis kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan produk.

Instrumen penelitian terdiri atas (1) lembar validasi ahli untuk mengukur kevalidan produk, (2) angket respons siswa untuk mengukur kepraktisan, (3) lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan (4) tes literasi sains. Tes disusun berdasarkan indikator literasi sains OECD (2023a), yaitu menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menafsirkan data dan bukti secara ilmiah. Sebelum digunakan dalam pengumpulan data, butir soal tes diuji berdasarkan validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda.

Data kevalidan dan kepraktisan dianalisis menggunakan statistik deskriptif kuantitatif dalam bentuk persentase. Kriteria penilaian terdiri atas sangat valid/praktis (81%–100%), valid/praktis (61%–80%), cukup valid/praktis (41%–60%), kurang valid/praktis (21%–40%), dan tidak valid/praktis (0%–20%) (Sugiyono, 2019). Data efektivitas dianalisis melalui uji prasyarat berupa uji normalitas dan homogenitas. Berdasarkan hasil uji prasyarat, sebagian data tidak memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas sehingga analisis dilanjutkan menggunakan statistik nonparametrik. *Wilcoxon Signed Rank Test* digunakan untuk mengetahui perbedaan skor *pretest* dan *posttest* pada kelompok yang sama, sedangkan *Mann-Whitney U Test* digunakan untuk membandingkan skor *posttest* dan *N-Gain* antara kelas eksperimen dan kelas kontrol (Siegel & Castellan, 1988). Pengambilan keputusan dilakukan dengan kriteria H₀ ditolak apabila nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* < 0,05.

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah

 <https://doi.org/10.51878/secondary.v6i4.15194>

Peningkatan literasi sains dianalisis menggunakan skor *N-Gain* ternormalisasi untuk mengetahui kategori peningkatan kemampuan siswa. Kategori *N-Gain* terdiri atas tinggi ($g \geq 0,70$), sedang ($0,30 \leq g < 0,70$), dan rendah ($g < 0,30$). Produk dinyatakan efektif apabila terdapat perbedaan capaian literasi sains antara kelas eksperimen dan kelas kontrol serta peningkatan *N-Gain* pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Tahap Analisis (*Analysis*)

Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi awal pembelajaran, kebutuhan siswa, karakteristik pembelajaran biologi, serta kebutuhan terhadap bahan ajar digital. Analisis dilaksanakan pada dua sekolah mitra dengan melibatkan 80 siswa, masing-masing 40 siswa dari SMA Islam Al Mizan dan 40 siswa dari SMAN 1 Kasokandel. Hasil analisis menunjukkan adanya *digital paradox*, yaitu ketersediaan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang relatif memadai, tetapi pemanfaatannya dalam pembelajaran masih cenderung terbatas pada penyajian materi secara satu arah.

Hasil angket kebutuhan menunjukkan bahwa sekitar 75%–90% siswa mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan dalam bentuk grafik atau tabel serta menjelaskan fenomena ilmiah berdasarkan konsep yang dipelajari. Selain itu, lebih dari 90% siswa menyatakan bahwa kegiatan kolaborasi dan penyampaian pendapat ilmiah masih jarang dilakukan dalam pembelajaran. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan teknologi dan pemanfaatannya sebagai sarana pembelajaran yang interaktif. Oleh karena itu, diperlukan bahan ajar digital yang tidak hanya berfungsi sebagai sumber informasi, tetapi juga mampu memfasilitasi pemecahan masalah, interaksi, kolaborasi, komunikasi ilmiah, dan pengembangan keterampilan *critical thinking* serta *creativity*.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dikembangkan e-modul berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) yang terintegrasi dengan keterampilan 4C dan literasi sains. Materi yang dipilih adalah daur biogeokimia karena materi tersebut memuat fenomena yang dekat dengan kehidupan sehari-hari dan membutuhkan kemampuan siswa dalam memahami hubungan antarkomponen, menganalisis data, menjelaskan fenomena, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti.

Tahap Perancangan (*Design*)

Tahap perancangan menghasilkan rancangan awal e-modul yang mengintegrasikan sintaks PBL, keterampilan 4C, dan tiga indikator literasi sains OECD. Perancangan dilakukan menggunakan **Canva** sebagai perangkat utama untuk menyusun tampilan, ilustrasi, infografis, dan komponen visual e-modul, kemudian hasil rancangan dipublikasikan dalam bentuk **Canva-site** agar dapat diakses melalui perangkat digital. Selain itu, video digunakan sebagai media orientasi masalah, sedangkan animasi digunakan untuk membantu memvisualisasikan proses daur biogeokimia yang bersifat abstrak.

Desain awal e-modul disusun menjadi tujuh komponen utama, yaitu (1) pendahuluan, (2) penyajian masalah kontekstual, (3) materi inti interaktif, (4) aktivitas berbasis HOTS, (5) LKPD digital, (6) evaluasi berbasis literasi sains, dan (7) refleksi. Setiap komponen dirancang berdasarkan tahapan PBL. Tahap orientasi masalah diwujudkan melalui fenomena kontekstual dan video, tahap pengorganisasian siswa dilakukan melalui aktivitas kelompok, tahap penyelidikan diarahkan melalui LKPD digital, tahap pengembangan dan penyajian hasil

dilakukan melalui komunikasi hasil diskusi, sedangkan tahap analisis dan evaluasi dilakukan melalui pertanyaan reflektif dan evaluasi literasi sains.

Rancangan awal selanjutnya ditelaah untuk mengidentifikasi aspek yang perlu diperbaiki sebelum dilakukan validasi ahli. Beberapa bagian yang menjadi perhatian dalam proses perancangan meliputi konsistensi tata letak, keterbacaan teks, kejelasan petunjuk aktivitas, kesesuaian gambar dengan materi, keterhubungan antara masalah dan sintaks PBL, serta keseimbangan antara penyajian materi dan aktivitas siswa. Hasil telaah tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi terhadap desain awal.

Hasil revisi menghasilkan desain akhir e-modul dengan struktur pembelajaran yang lebih sistematis. Pada desain akhir, setiap aktivitas pembelajaran memiliki keterkaitan yang jelas antara masalah, materi, aktivitas HOTS, LKPD, keterampilan 4C, dan indikator literasi sains. Materi juga dilengkapi dengan gambar, video, animasi, pertanyaan pemantik, aktivitas analisis data, dan refleksi sehingga e-modul tidak hanya berfungsi sebagai bahan bacaan digital, tetapi sebagai media pembelajaran interaktif yang mengarahkan siswa untuk membangun pengetahuan melalui pemecahan masalah.

Tahap Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan dilakukan dengan merealisasikan desain akhir menjadi e-modul berbasis *Canva-site*. Produk yang dikembangkan memuat teks materi, gambar, video orientasi masalah, animasi daur biogeokimia, LKPD digital, aktivitas HOTS, evaluasi literasi sains, serta kegiatan refleksi. Produk kemudian divalidasi oleh tiga validator yang terdiri atas ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran biologi. Validasi bertujuan untuk memperoleh penilaian terhadap kesesuaian substansi materi, kualitas tampilan dan media, serta kesesuaian desain pembelajaran dengan karakteristik pembelajaran biologi.

Validitas E-Modul

Hasil penilaian validator disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Validasi Ahli

Validator	Persentase Kelayakan	Kategori
Ahli Materi	93,7%	Sangat Valid
Ahli Media	87,5%	Sangat Valid
Ahli Pembelajaran Biologi	97,7%	Sangat Valid
Rata-rata	92,9%	Sangat Valid

Sumber: data primer diolah (2026).

Berdasarkan Tabel 2, e-modul memperoleh rata-rata persentase validasi sebesar 92,9% dengan kategori sangat valid. Penilaian ahli materi mencapai 93,7%, ahli media sebesar 87,5%, dan ahli pembelajaran biologi sebesar 97,7%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek kelayakan isi, penyajian media, dan desain pembelajaran sehingga dapat digunakan pada tahap uji coba setelah dilakukan perbaikan berdasarkan saran validator.

Kepraktisan E-Modul

Kepraktisan e-modul diperoleh melalui angket respons 80 siswa kelas eksperimen, yang terdiri atas 40 siswa SMA Islam Al Mizan dan 40 siswa SMAN 1 Kasokandel. Angket terdiri atas 20 pernyataan yang mencakup aspek tampilan, kemudahan penggunaan, navigasi, interaktivitas, kemandirian belajar, dan manfaat e-modul dalam pembelajaran. Hasil respons menunjukkan bahwa pada seluruh butir pernyataan, pilihan positif yang terdiri atas “Setuju” dan “Sangat Setuju” mencapai 100% di kedua sekolah. Pada aspek navigasi, sebanyak 82,5%

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah

siswa SMA Islam Al Mizan dan 75% siswa SMAN 1 Kasokandel menyatakan “Sangat Setuju” bahwa navigasi e-modul mudah digunakan. Pada aspek kemandirian belajar, lebih dari 40% siswa pada kedua sekolah menyatakan “Sangat Setuju” bahwa e-modul membantu mereka belajar kapan saja dan di mana saja.

Pada aspek komunikasi ilmiah, sebanyak 67,5% siswa SMA Islam Al Mizan dan 52,5% siswa SMAN 1 Kasokandel menyatakan bahwa penggunaan e-modul meningkatkan keberanian mereka dalam menyampaikan pendapat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa e-modul tidak hanya mudah digunakan dari sisi teknis, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang mendukung interaksi dan komunikasi siswa. Berdasarkan keseluruhan respons tersebut, e-modul memenuhi kriteria sangat praktis untuk digunakan dalam pembelajaran.

Tahap Implementasi (*Implementation*)

Tahap implementasi dilakukan pada 160 siswa kelas X dari dua sekolah mitra. Kelas eksperimen menggunakan e-modul interaktif berbasis PBL yang terintegrasi dengan keterampilan 4C dan literasi sains, sedangkan kelas kontrol menggunakan bahan ajar cetak. Implementasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan e-modul dalam meningkatkan literasi sains siswa melalui perbandingan hasil belajar sebelum dan sesudah pembelajaran serta perbandingan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Hasil observasi selama implementasi menunjukkan bahwa 85% siswa terlibat aktif dalam diskusi kelompok, 80% mampu mengemukakan argumen ilmiah, dan 75% mampu menganalisis data serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan e-modul memberikan ruang yang cukup bagi siswa untuk terlibat dalam aktivitas pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik PBL dan keterampilan 4C.

Efektivitas E-Modul terhadap Literasi Sains

Efektivitas e-modul dianalisis berdasarkan perbandingan skor *pretest*, *posttest*, dan N-Gain pada kelas eksperimen dan kontrol. Hasil peningkatan literasi sains disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Peningkatan Literasi Sains (N-Gain)

Sekolah	Kelas	Rerata Pretest	Rerata Posttest	N-Gain	Kategori
SMA Al Mizan	Eksperimen	52,90	87,05	0,73	Tinggi
SMA Al Mizan	Kontrol	52,60	68,25	0,33	Sedang
SMAN Kasokandel	1 Eksperimen	52,85	84,70	0,68	Sedang
SMAN Kasokandel	1 Kontrol	52,15	61,25	0,19	Rendah

Sumber: data primer diolah (2026).

Berdasarkan Tabel 3, kemampuan awal siswa pada seluruh kelompok relatif sebanding dengan rerata *pretest* antara 52,15 sampai 52,90. Setelah pembelajaran, rerata *posttest* kelas eksperimen meningkat menjadi 87,05 di SMA Al Mizan dan 84,70 di SMAN 1 Kasokandel. Peningkatan tersebut menghasilkan N-Gain masing-masing sebesar 0,73 dengan kategori tinggi dan 0,68 dengan kategori sedang. Sebaliknya, kelas kontrol hanya memperoleh N-Gain sebesar 0,33 di SMA Al Mizan dan 0,19 di SMAN 1 Kasokandel.

Hasil uji *Wilcoxon Signed Rank Test* menunjukkan bahwa seluruh siswa pada kelas eksperimen mengalami peningkatan skor, dengan *positive ranks* sebanyak 40 siswa dan *negative ranks* sebanyak 0 siswa pada kedua sekolah. Nilai *Asymp. Sig.* yang diperoleh lebih

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah

kecil dari 0,05, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara skor *pretest* dan *posttest* setelah penggunaan e-modul. Selanjutnya, perbedaan capaian antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dianalisis menggunakan *Mann-Whitney U Test* sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Hipotesis (*Mann-Whitney U Test*)

Perbandingan	Mean Eksperimen	Rank Kontrol	Mean Rank	Asymp. Sig.	Keputusan
Posttest SMA Al Mizan (Eksperimen vs. Kontrol)	60,50	20,50		0,000	H ₀ ditolak
Posttest SMAN 1 Kasokandel (Eksperimen vs. Kontrol)	60,50	20,50		0,000	H ₀ ditolak
Posttest Eksperimen SMA Al Mizan vs. SMAN 1 Kasokandel	47,75	33,25		0,005	H ₀ ditolak

Sumber: data primer diolah (2026).

Berdasarkan Tabel 4, nilai *Asymp. Sig.* pada perbandingan kelas eksperimen dan kontrol di SMA Al Mizan maupun SMAN 1 Kasokandel sebesar $0,000 < 0,05$. Dengan demikian, terdapat perbedaan capaian literasi sains yang signifikan antara siswa yang menggunakan e-modul dan siswa yang menggunakan bahan ajar cetak. Perbedaan tersebut diperkuat oleh *mean rank* kelas eksperimen yang lebih tinggi daripada kelas kontrol. Sementara itu, perbandingan kelas eksperimen antar sekolah menghasilkan *Asymp. Sig.* sebesar $0,005 < 0,05$, dengan *mean rank* SMA Al Mizan sebesar 47,75 dan SMAN 1 Kasokandel sebesar 33,25.

Tahap Evaluasi (*Evaluation*)

Tahap evaluasi dilakukan secara bertahap selama proses pengembangan dan implementasi untuk memastikan bahwa e-modul yang dihasilkan memenuhi aspek validitas, kepraktisan, dan efektivitas. Evaluasi formatif dilakukan melalui penelaahan desain, validasi ahli, serta respons siswa. Hasil evaluasi ahli menunjukkan bahwa e-modul memperoleh rata-rata validitas sebesar 92,9% sehingga produk dinilai sangat valid. Sementara itu, evaluasi kepraktisan melalui respons siswa menunjukkan respons positif sebesar 100% pada seluruh butir pernyataan, yang menunjukkan bahwa e-modul dapat digunakan dengan mudah dan diterima oleh siswa.

Evaluasi efektivitas dilakukan melalui analisis perubahan skor *pretest* dan *posttest*, N-Gain, serta pengujian perbedaan antara kelompok eksperimen dan kontrol. Hasil menunjukkan bahwa e-modul menghasilkan peningkatan literasi sains yang lebih tinggi dibandingkan bahan ajar cetak. N-Gain kelas eksperimen mencapai 0,73 di SMA Al Mizan dan 0,68 di SMAN 1 Kasokandel, sedangkan kelas kontrol hanya mencapai 0,33 dan 0,19. Hasil uji statistik juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol dengan nilai *Asymp. Sig.* sebesar $0,000 < 0,05$ pada kedua sekolah.

Hasil evaluasi juga menunjukkan adanya variasi efektivitas antara kedua sekolah. N-Gain kelas eksperimen di SMA Al Mizan berada pada kategori tinggi (0,73), sedangkan di SMAN 1 Kasokandel berada pada kategori sedang (0,68). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas e-modul tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik produk, tetapi juga dapat berkaitan dengan kondisi lingkungan pembelajaran dan karakteristik siswa di masing-masing sekolah. Oleh karena itu, hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria sangat valid, sangat praktis, dan efektif dalam meningkatkan

literasi sains siswa, meskipun tingkat peningkatannya dapat berbeda sesuai dengan konteks implementasi.

Pembahasan

Temuan validitas yang sangat tinggi (92,9%) menegaskan bahwa integrasi multimedia (teks, gambar, video, dan animasi) pada e-modul telah memenuhi prinsip Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014), yaitu penyandingan representasi verbal dan visual secara proporsional untuk mereduksi beban kognitif ekstraneus (extraneous cognitive load) sekaligus mengoptimalkan pemrosesan intrinsik dan germane (Sweller, 2011; Hindriana et al., 2026). Capaian ini juga didukung secara empiris oleh data angket, di mana 100% siswa di kedua sekolah menyatakan bahwa video dan animasi membantu mereka memahami materi ekosistem yang bersifat abstrak, seperti aliran energi dan siklus biogeokimia.

Lonjakan literasi sains pada kelas eksperimen tidak terjadi secara kebetulan, melainkan merupakan hasil rekayasa instruksional yang memadukan sintaks PBL dengan tiga indikator literasi sains OECD (2023a) secara berjenjang. Fase orientasi masalah yang mengangkat isu degradasi lingkungan lokal di Majalengka berhasil memicu rasa ingin tahu dan melatih kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah (Lederman et al., 2019); fase penyelidikan berkelompok melatih kemampuan mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah; sedangkan fase penyajian hasil dan refleksi melatih kemampuan menafsirkan data dan menarik kesimpulan berbasis bukti. Pola ini konsisten dengan prinsip scaffolding digital dalam kerangka Zone of Proximal Development (Slavin, 2019) serta Konstruktivisme Sosial Vygotsky (1978), yang menegaskan bahwa pengetahuan terkonstruksi lebih kokoh melalui interaksi aktif antara siswa, media, dan sesama peserta didik.

Integrasi keterampilan 4C dalam struktur LKPD digital turut menghidupkan interaksi sosial di dalam kelas melalui pembagian peran kelompok yang menciptakan ketergantungan positif (positive interdependence). Hal ini terkonfirmasi dari peningkatan keberanian siswa berkomunikasi ilmiah pada kedua sekolah, sejalan dengan pandangan bahwa literasi sains bukan semata aktivitas kognitif individual, melainkan juga praktik sosial (OECD, 2023a).

Perbedaan signifikan capaian N-Gain antara SMA Al Mizan (tinggi) dan SMAN 1 Kasokandel (sedang) menarik untuk dicermati. Meskipun kedua sekolah menerima e-modul yang identik, SMA Al Mizan yang sebelumnya memiliki kultur digital lebih mapan justru menunjukkan daya ungkit lebih besar, sedangkan SMAN 1 Kasokandel mengalami learning curve pada awal implementasi akibat transisi dari bahan ajar cetak ke platform digital. Temuan ini memberi justifikasi empiris terhadap pandangan Selwyn (2016) dan Cuban (2001) bahwa efektivitas inovasi teknologi pendidikan tidak bersifat tunggal, melainkan berinteraksi secara dinamis dengan kesiapan infrastruktur dan kultur digital penggunanya. Implikasinya, intervensi berbasis e-modul interaktif memberikan dampak transformasional yang lebih masif pada sekolah yang sebelumnya minim pemanfaatan media interaktif, dan berperan sebagai optimalisasi pada sekolah yang sudah terbiasa dengan ekosistem digital.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat dan memperluas temuan Sari et al. (2021) dan Uslan (2024) mengenai potensi e-modul berbasis literasi sains, dengan kontribusi kebaruan berupa integrasi eksplisit keterampilan 4C sebagai variabel proses dan pembuktian efektivitas melalui desain quasi-experimental pada dua konteks sekolah yang berbeda karakteristik kesiapan digitalnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan menggunakan model ADDIE serta pengujian efektivitas pada materi ekosistem, dapat disimpulkan bahwa e-modul berbasis pembelajaran interaktif yang terintegrasi keterampilan abad ke-21 (4C) berhasil dikembangkan dengan memadukan sintaks Problem-Based Learning ke dalam lingkungan belajar digital berbasis Canva-site. Produk ini dinyatakan sangat valid dengan rata-rata persentase kelayakan 92,9% berdasarkan penilaian ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran biologi, serta sangat praktis berdasarkan respons positif 100% siswa pada seluruh aspek angket. Hasil uji efektivitas menunjukkan bahwa penggunaan e-modul secara signifikan lebih unggul dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan literasi sains siswa (Asymp. Sig. = 0,000 < 0,05), dengan capaian N-Gain berkategori tinggi di SMA Al Mizan (0,73) dan sedang di SMAN 1 Kasokandel (0,68), keduanya melampaui kelas kontrol. Dengan demikian, e-modul interaktif terintegrasi 4C terbukti valid, praktis, dan efektif sebagai scaffolding digital dalam meningkatkan kompetensi literasi sains siswa SMA pada materi ekosistem, sekaligus menegaskan bahwa efektivitas inovasi teknologi pendidikan bergantung pada interaksi dinamis antara kualitas desain instruksional dan kesiapan digital sekolah pengguna.

Bagi guru biologi, disarankan untuk mengoptimalkan peran fasilitator pada tahap penyelidikan masalah dan memberikan atensi lebih pada siswa dengan literasi digital rendah. Bagi satuan pendidikan, kebijakan Bring Your Own Device (BYOD) dapat dipertimbangkan untuk mengatasi keterbatasan fasilitas proyeksi di kelas. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan fitur kecerdasan buatan (AI) guna memberikan umpan balik yang lebih personal, memperluas pengujian pada variabel metakognitif dan self-regulated learning, serta mengembangkan aktivitas yang lebih divergen pada dimensi kreativitas melalui pendekatan Project-Based Learning.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, D. M., Prahani, B. K., Suprpto, N., Shofiyah, N., & Jatmiko, B. (2023). Systematic review of problem-based learning research in fostering critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 49, Article 101334. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334>
- Arsyad, A. (2017). *Media pembelajaran*. Rajawali Pers.
- Bybee, R. W. (2015). *The STEM shift: Reform or reality?* NSTA Press.
- Cuban, L. (2001). *Oversold and underused: Computers in the classroom*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674030107>
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (1996). *The systematic design of instruction* (4th ed.). HarperCollins College Publishers.
- Ennis, R. H. (2011). *The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities*. University of Illinois.
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment.
- Fitriani, N. (2022). Pengaruh pembelajaran discovery learning terhadap literasi sains pada materi ekosistem siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Biologi*.
- Glick, M., Greenberg, M. S., Lockhart, P. B., & Challacombe, S. J. (2021). *Burket's oral medicine* (13th ed.). Wiley-Blackwell.
- Green, A. E., Beaty, R. E., Kenett, Y. N., & Kaufman, J. C. (2024). The process definition of creativity. *Creativity Research Journal*, 36(3), 544–572. <https://doi.org/10.1080/10400419.2023.2254573>

- Hindriana, A. F., Turki, H. I., Prihatin, Y., Setiawati, I., Abidin, Z., & Pratami, A. R. (2026). Cognitive load management: Learning abstract and complex scientific concepts using visual metaphors and metonymies. *Cakrawala Pendidikan: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 45(1), 84–100. <https://doi.org/10.21831/cp.v45i1.83196>
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>
- Kain, C., Koschmieder, C., Matischek-Jauk, M., & Bergner, S. (2024). Mapping the landscape: A scoping review of 21st century skills literature in secondary education. *Teaching and Teacher Education*, 151, Article 104739. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104739>
- Kemendikbudristek. (2022). *Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 56/M/2022 tentang pedoman penerapan kurikulum dalam rangka pemulihan pembelajaran*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Khishfe, R. (2023). Improving students' conceptions of nature of science: A review of the literature. *Science & Education*, 32, 1887–1931. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00390-8>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316941355>
- Nedungadi, P. P., Raman, R., & McGregor, M. (2021). Personalized learning in schools: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 69, 1200–1215. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10003-2>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023a). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/dfc0bf9c-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023b). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Reski, S. H., & Fadilah, M. (2024). Analisis media pembelajaran terhadap beban kognitif peserta didik pada pembelajaran biologi. *Jurnal Bioshell: Jurnal Pendidikan Biologi, Biologi, dan Pendidikan IPA*, 13(1), 11–16. <https://doi.org/10.56013/bio.v13i1.2773>
- Sari, R. P., Syamsurizal, S., & Ramli, R. (2021). Development of e-modules based on scientific literacy for biology learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1940(1), Article 012117. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012117>
- Selwyn, N. (2016). *Education and technology: Key issues and debates* (2nd ed.). Bloomsbury Academic.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Skulmowski, A., & Xu, K. M. (2022). Understanding cognitive load in digital and online learning: A new perspective on extraneous cognitive load. *Educational Psychology Review*, 34(1), 171–196. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09624-7>
- Slavin, R. E. (2019). *Educational psychology: Theory and practice* (12th ed.). Pearson.



- Smith, P. L., & Ragan, T. J. (1999). *Instructional design* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Uslan. (2024). The effectiveness of module to improve scientific literacy. *JKPI: Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 5(2). <https://journal.uniga.ac.id/index.php/jkpi>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.